

Chaitre1. Généralités

1.1 Introduction (définition et caractères techniques)

Le moteur à combustion interne (MCI) est une machine thermique qui transforme l'énergie calorifique d'un combustible (carburant) en énergie mécanique sur l'arbre moteur. Dans le moteur, le combustible brûle dans une chambre faisant partie du moteur (cf. figure 1), les calories dégagées s'incorporent aux gaz de la combustion. La détente des gaz fournissent directement de l'énergie mécanique aux organes mobiles du moteur (pistons ou aubes). Cette transformation passe par un changement d'état : vaporisation, changement de volume (ou compression) et changement de température.

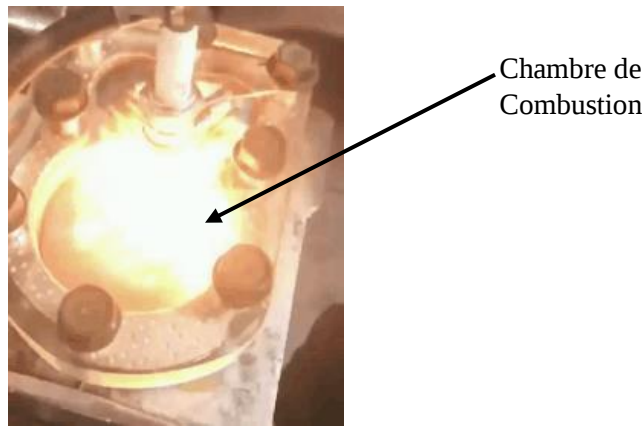


Figure 1. La combustion dans un moteur alternatif à pistons

1.2 Caractères techniques

En considérant un moteur alternatif à pistons, relatons quelques caractéristiques spécifiques du moteur.

i. Rendement global " η "

Le rendement global d'un MCI est défini par :

$$\eta = \frac{\text{Travail effectif sur l'arbre}}{\text{Equivalent mécanique des calories dépensées}}.$$

Le rendement est d'autant meilleur que le rapport volumétrique de compression " ρ " est important.

$$\rho = \frac{V + v}{v}.$$

Où V - Cylindrée (volume engendré par le piston par course du piston)

v - volume de la chambre de combustion

Les valeurs courantes du rendement varient de 30 à 40%

ii. Vitesse

La vitesse ou fréquence de rotation de l'arbre moteur couvre une gamme étendue, elle varie en générale de 150 à 12000 tr/mn dans le cas des moteurs alternatifs à pistons et jusqu'à 30000 tr/mn pour les turbo-moteurs.

iii. Couple

Le couple des moteurs alternatifs est variable au cours d'un cycle pour chaque cylindre comme montré dans la figure 2.

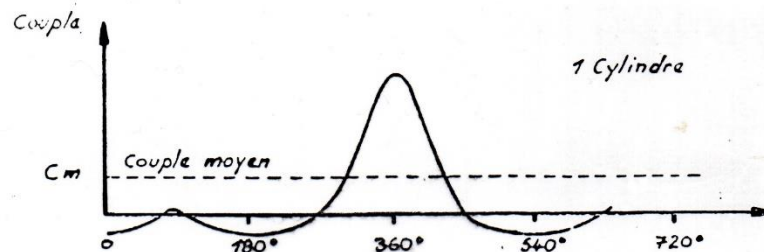


Figure 2. Evolution du couple moteur selon la position angulaire de l'arbre moteur

Pour assurer un fonctionnement correct du moteur alternatif, il convient alors de prévoir des volants, ou d'associer des cylindres en décalant convenablement les phases de leurs cycles (cf. figure 3).

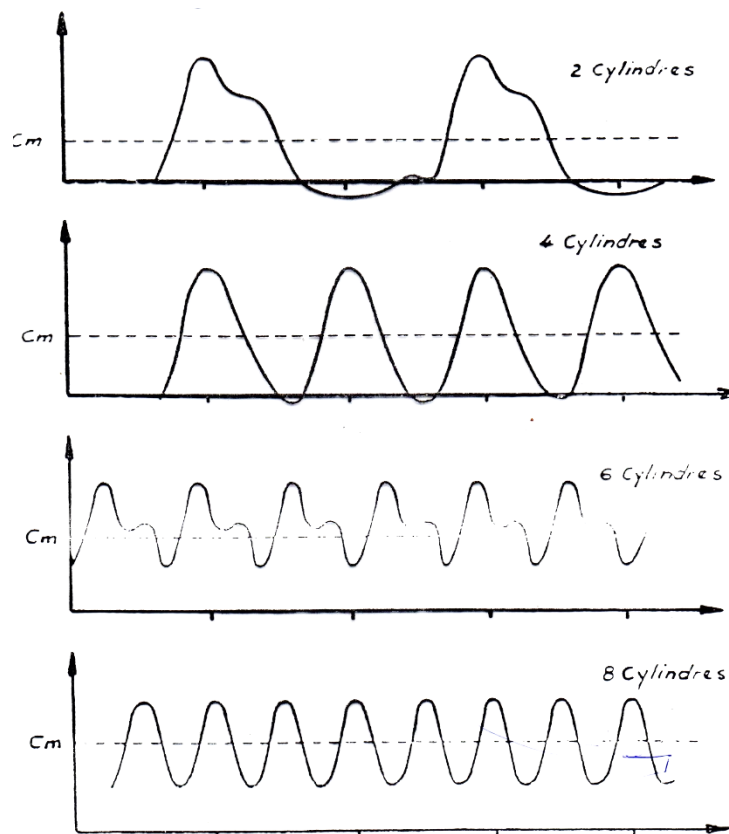


Figure 3. Evolution du couple moteur après association des cylindres

iiii. Démarrage

Les moteurs ne démarrent pas seuls, il est impératif de leur associer un dispositif de lancement. Aussi, la caractéristique mécanique $C(N)$ (cf. figure 4) d'un moteur alternatif, montre qu'il n'est utilisable que dans la zone entre le ralenti et la vitesse de régime.

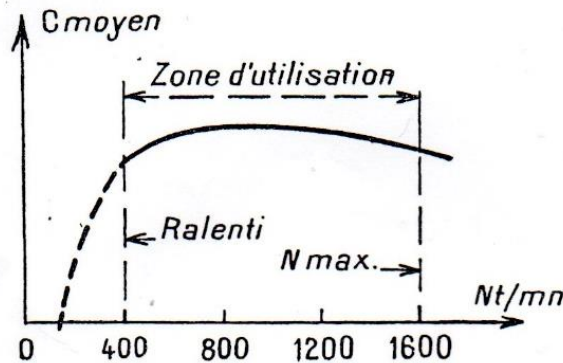


Figure 4. Evolution du couple moteur en fonction de la vitesse de rotation

Les dispositifs de lancement dépendent de la puissance du moteur, à savoir :

- manivelle ou pédale pour les petites puissances
- démarreurs électriques ou hydrauliques pour les puissances moyennes
- démarreurs à air comprimé (compresseur, bouteilles d'air comprimé)
- moteur auxiliaire (moteurs indépendant) pour les fortes puissances

iiii. Sens de rotation

Le sens de rotation est invariable.

- Dans le cas des moteurs de faibles et moyennes puissances, le sens de rotation est conservé avec adjonction d'un inverseur mécanique.
- dans le cas des fortes puissances (cas des moteurs marins), il est prévu une distribution spéciale de marche arrière.

La fonction globale du moteur à combustion interne peut être illustrée par le synoptique (figure 5) ci-dessous :

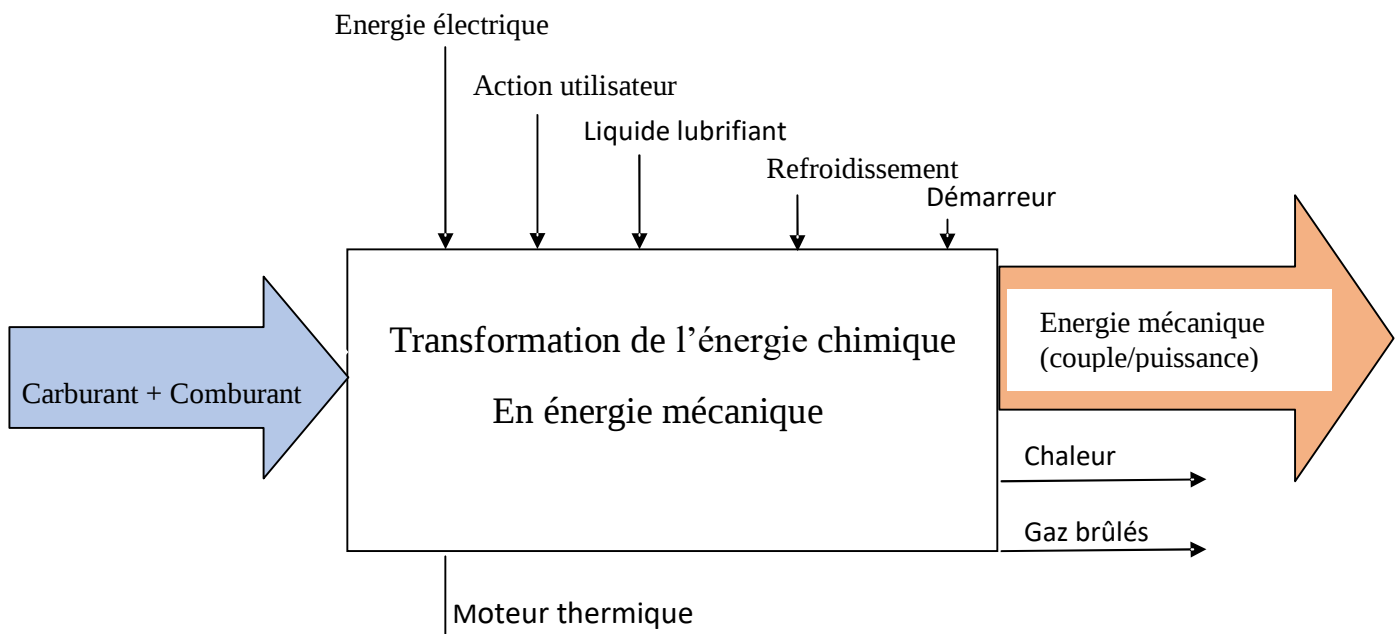


Figure 5. Fonction globale du moteur à combustion interne

1.3 Classification des moteurs à combustion interne

L'évolution des gaz dans le cylindre du moteur se reproduit périodiquement dans le cylindre du moteur ; alors les cycles d'évolution peuvent être classés d'après le nombre de temps nécessaires pour une évolution, ou d'après le mode de combustion (mode d'allumage du mélange combustible). Cette classification est présentée sur le synoptique suivant :

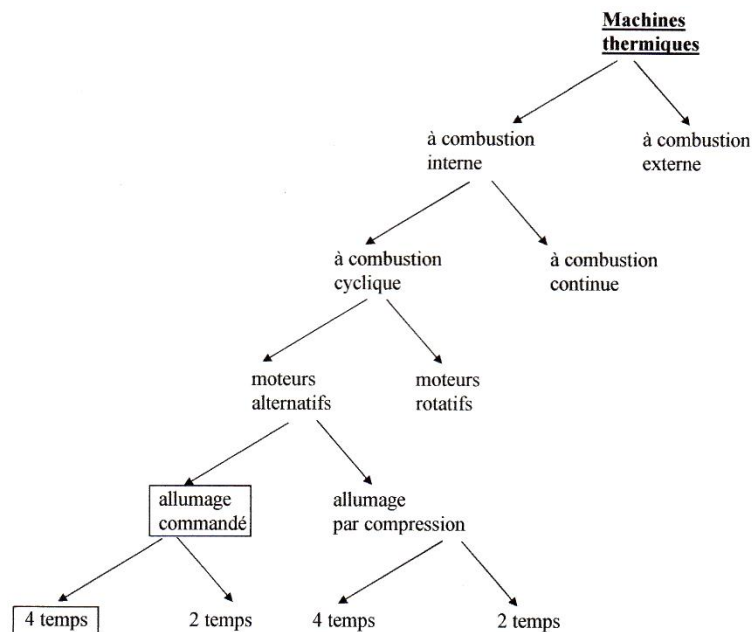


Figure 6. Classification des moteurs à combustion interne

a) Classification selon le nombre de temps :

- Si le cycle complet s'effectue pendant un tour de vilebrequin, soit 2 courses du piston, il est dit à deux temps (moteur à deux temps) ; Il y'a donc un temps moteur par tour.
- Si le cycle demande deux tours du vilebrequin, soit 4 courses du piston, il est dit à 4 temps (moteur à quatre temps). Dans ce cas, il y'a un temps moteur pour deux tours.

b) classification selon le mode de combustion

- Allumage commandé, la combustion est réalisée à volume constant selon le cycle BEAU DE ROCHAS. Dans ce cas, un mélange carburé (air/carburant) aspiré est préalablement comprimé avec un taux de compression modéré ($\rho=4.5$ à 9). En fin de compression, l'allumage du mélange est provoqué par une étincelle électrique au moyen d'une bougie électrique. La combustion est rapide (moteur à explosion). Le rendement est moins bon, nécessité d'un combustible gazeux ou liquide volatil, les pressions sont modérées et la construction du moteur est légère.
- Allumage par compression, la combustion s'effectue à pression constante selon le cycle DIESEL. Dans ce cas, l'air pur est comprimé à un rapport volumétrique plus élevé ($\rho=14$ à 20), ce qui l'échauffe fortement. En fin de compression, une quantité de combustible finement pulvérisée est injectée, en contact de l'air chaud (en raison de la haute température atteinte), elle s'enflamme instantanément, puis brûle pendant la durée d'injection. Le rendement est meilleur que dans le premier cas en raison de la forte compression, emploi des combustibles lourds, mais les fortes pressions rendent la construction du moteur lourde.

***Une étude détaillée des cycles thermodynamiques sera développée dans le prochain chapitre.**

1.4 Construction et principe de fonctionnement

1.4.1 L'architecture générale d'un moteur à combustion interne est présentée sur la figure 7.

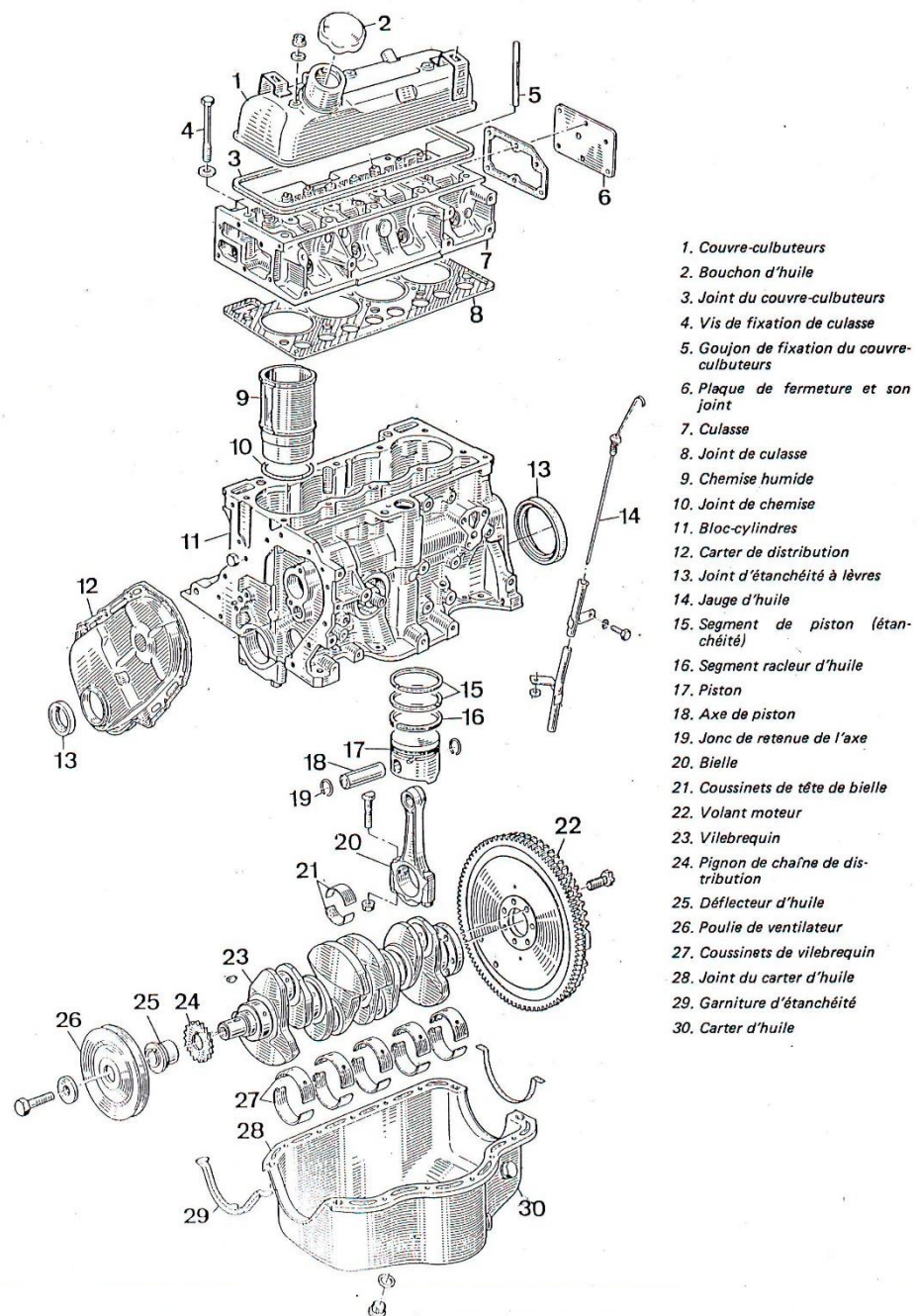


Figure 7. Vue éclatée d'un moteur à allumage commandé (à explosion)

Le moteur est composé de deux parties essentielles, on distingue :

a) Les parties fixes comprennent principalement :

- Le bloc moteur ou bloc cylindre
- La culasse supportant les éléments de la distribution (arbre à cames, soupapes,..) et servant de couvercle hermétique au bloc moteur

b) Les parties mobiles comprennent deux parties essentielles :

- L'attelage mobile composé de vilebrequin, des bielles et des pistons dotés de leurs segments
- La distribution incluant : l'arbre à came, les soupapes munies de leurs ressorts de rappel, chaînes ou courroies crantées

***La description détaillée de l'ensemble des éléments du moteur est présentée dans le document joint sous format PDF.**

1.4.2 Principe de fonctionnement

Considérons un moteur alternatif à quatre temps à allumage commandé (moteur à explosion). La transformation de l'énergie de combustion est réalisée par l'architecture cinématique bielle-manivelle qui permet de transformer un mouvement rectiligne alternatif (déplacement du piston) en un mouvement rotatif du vilebrequin. C'est la combustion de la charge carburée (mélange : air/carburant) dans la chambre de combustion qui entraîne une élévation de la pression des gaz provoquant ainsi le refoulement du piston, donc la rotation du vilebrequin. Les 4 temps du cycle permettent la transformation de l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique. Chaque temps correspond à un demi-tour de rotation du vilebrequin correspondant à une montée ou une descente du piston.

Le fonctionnement des quatre temps peut être explicité en ce qui suit :

➤ **1er temps : ADMISSION, remplissage du cylindre (figure 8)**

Le piston descend du PMH au PMB et aspire le mélange (air+carburant)

La soupape d'Admission ouverte, la Soupape d'Echappement fermée

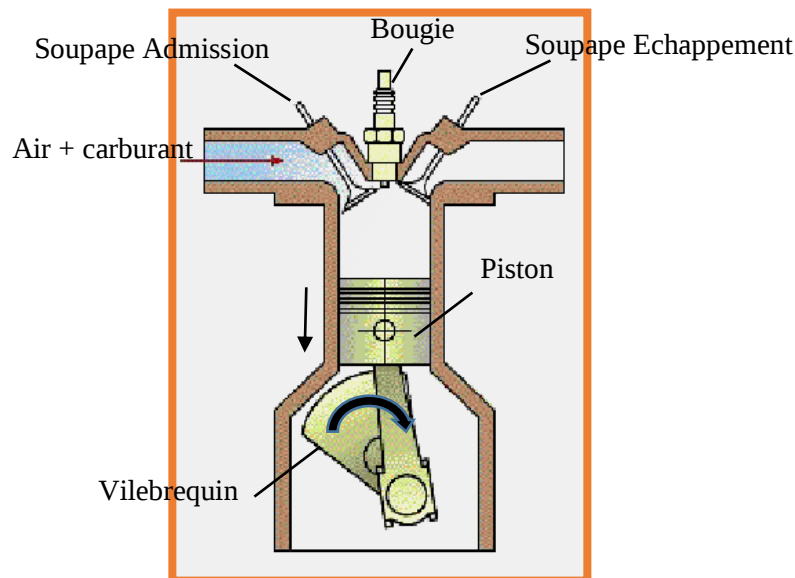


Figure 8. Phase – 1^{er} temps (Admission)

➤ **2ème temps : COMPRESSION (figure 9)**

Le piston remonte du PMB au PMH et comprime le mélange carburé, en fin de compression la bougie génère une étincelle électrique qui déclenche la combustion.

La soupape d'Admission fermée, la soupape d'Echappement fermée

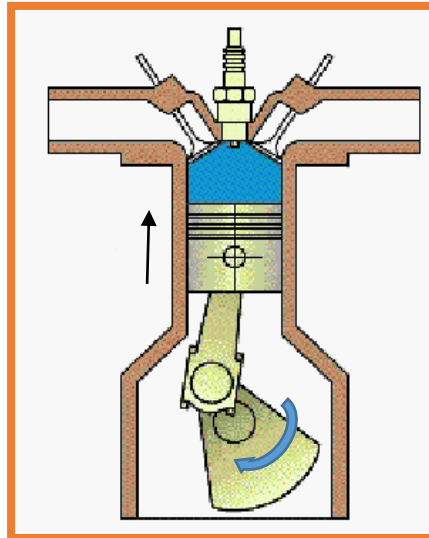


Figure 9. Phase – 2^{ème} temps (Compression)

➤ **3ème temps : ALLUMAGE COMBUSTION DETENTE (figure 10)**

La soupape d'Admission fermée, la soupape d'Echappement fermée.

L'étincelle générée par la bougie enflamme le mélange, engendre un front de flamme qui se propage très rapidement, brûlant quasi instantanément le mélange contenu dans le cylindre. L'augmentation de pression qui en résulte provoque le refoulement du piston.

Le piston descend du PMH au PMB, l'énergie chimique est donc transformée en énergie mécanique durant cette phase, c'est **le temps MOTEUR**.

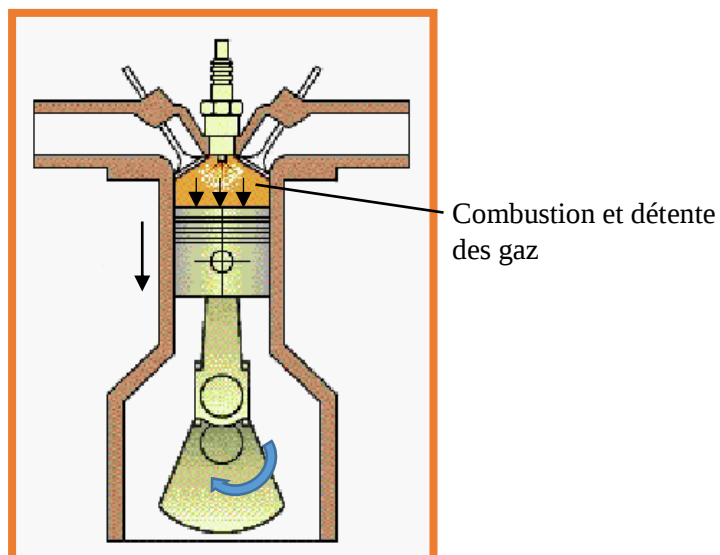


Figure 10. Phase – 3^{ème} temps (Combustion + Détente des gaz)

➤ 4ème temps : ECHAPPEMENT (figure 11)

Le piston remonte du PMB au PMH, les gaz brûlés sont transférés (chassés) à l'extérieur du cylindre.

La soupape d'Admission fermée, la soupape d'Echappement ouverte

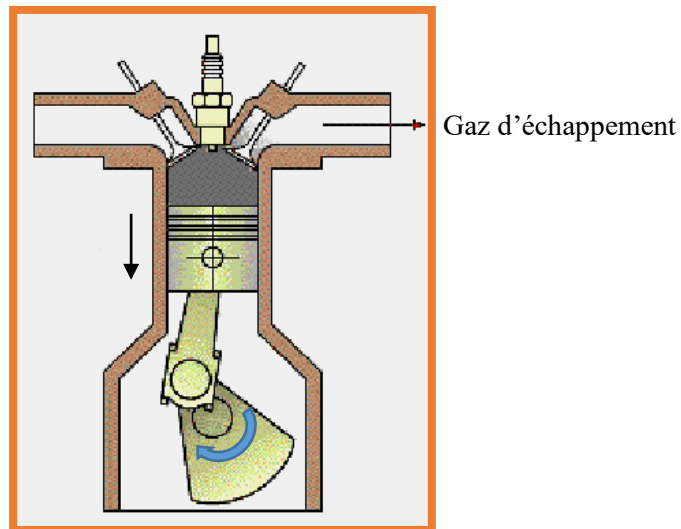


Figure 11. Phase – 4^{ème} temps (Echappement)

*PMB – Point mort bas

*PMH – Point mort haut

1.5 Carburants des moteurs à combustion interne

Les moteurs à combustion interne ne peuvent pas accepter tout type de carburant. Les combustibles, les plus fréquemment utilisés se présentent à l'état liquide, on rencontre aussi les alcools et les mélanges de carbures d'hydrogène.

Les moteurs à allumage commandé, appelés « moteurs à explosion », peuvent fonctionner aussi bien avec de l'essence que du GPL, du GNV et d'autres gaz. Par ailleurs, ils peuvent fonctionner avec un mélange de bioéthanol et d'essence voire d'éthanol pur. Des adaptations des moteurs sont nécessaires en fonction du carburant. La formation du mélange avec l'air était assurée par un appareil spécial appelé carburateur, par la suite le mélange est admis dans les cylindres du moteur par les soupapes d'admission. Actuellement, le système du carburateur est remplacé par un système d'injection directe ou indirecte, l'alimentation en carburant est donc assurée à l'aide d'injecteurs. Plus généralement, l'alimentation en carburant d'un moteur à combustion, solution préconisée pour le moteur à pistons, le moteur à réaction d'avion ou de fusée.

Un moteur diesel peut fonctionner avec du gazole classique, aussi appelé « pétrodiesel », ou avec un mélange de biodiesel et de Diesel voire de biodiesel (huiles minérales ou végétales) pur ou même d'huiles lourdes pour les moteurs d'engins et de bateaux. Des adaptations du moteur ou de ses réglages sont aussi nécessaires lors du changement de carburant.

Les carburants les plus couramment utilisés sont illustrés sur le tableau1 suivant :

Tableau 1. Carburants usuels

Carburants	PCI (MJ/kg)
Essence (automobile)	45 - 48.3
Essence (aviation)	44,0
GPL	46,1
Fioul ou gazole	48
Kérosène	43,3
GNV	48,0
Dihydrogène	120,0
Isooctane	44,4
Isoheptane	44,6

Un combustible est apprécié suivant diverses qualités à savoir :

- Le pouvoir calorifique « PCI » ou quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de masse, caractérise l'aptitude du carburant à porter à haute température l'air comprimé dans le cylindre.
- Le poids spécifique et le volume d'air nécessaire pour brûler l'unité de masse du combustible, interviennent dans le choix des éléments de réglage du carburateur afin d'obtenir un dosage correcte.
- La tendance à la détonation qui caractérise l'aptitude du carburant à exploser spontanément lorsque le piston comprime le mélange carburé. On utilise pour les moteurs poussés des combustibles antidétonants.

Les qualités des combustibles liquides usuels sont mentionnées sur les tableau2 et tableau3.

Tableau2 Caractéristiques de qualité des combustibles

Combustibles	Pouvoir calorifique Kcal/Kg	Poids spécifique G/cm ³	Volume d'air en m ³ Pour brûler 1 Kg de combustible	Tendance à la détonation
Essence	10000 à 12000	0.68 à 0.72	13 à 15	Dépend de sa composition
Alcool	6000 à 7000	0.800	7.5 à 9	Néant
Benzol	10000	0.885	11.4 à 13.3	Faible
Gas-oil	9800 à 10700	0.850	11.5 à 13.5	Dépend de sa composition

Tableau3. Origines et utilisation des combustibles

Combustibles	Origines	Particularités
Essence	- distillation des pétroles - hydrogénation de la houille (essence synthétique)	Grande volatilité, permet des départs faciles
Alcool	Distillation de produits végétaux (vin, pomme de terre, grains,...)	S'hydrate facilement, rend les départs difficiles ; mélangé avec l'essence améliore la résistance à la détonation
Benzol		Gèle à -4°C ; départs à froid difficiles ; rarement employé seul ; entre dans la composition des supercarburants (alcool, benzol, essence)
Gas-oil		Peu volatil ; il est injecté sous forte pression dans le cylindre

***Remarque :** il est possible de diminuer la tendance à la détonation d'une essence, soit par addition d'Alcool et de Benzol, soit par addition de corps antidétonants tels que : le plomb tétraétyl (0.45% dans l'essence tourisme, 0.8 dans l'essence d'aviation)